

ASPECTES BIOCLIMÀTICS DEL CARST DE MALLORCA

BIOCLIMATIC ASPECTS OF KARST IN MALLORCA

José A. GUIJARRO¹

Resum

El clima de Mallorca, mediterrani, amb temperatures entre suaus i càlides durant tot l'any (mitjana anual de 16,6 °C), permet una notable activitat dels processos càrstics; no tan intensa com a les zones tropicals, però superior a la de zones més fredes.

Damunt aquest nivell general d'activitat es superposen pautes de variació espacials i temporals, degudes a la gran variabilitat dels elements climàtics, principalment de la precipitació. Aquesta presenta valors que oscil·len entre els 1.400 mm, a la Serra de Tramuntana, i quantitats al voltant dels 300 mm a l'extrem meridional de l'illa.

Abstract

The climate in Mallorca, typically Mediterranean, with temperatures between mild and hot throughout the year (annual average of 16.6 °C), allows a remarkable activity of karstic processes; not so intense as in the tropical areas, but superior to colder areas.

Above this general level of activity spatial and temporary variation patterns are superposed, due to the great variability of climatic elements, mainly from precipitation. This shows values that range from 1,400 mm, in Serra de Tramuntana mountain range, to around 300 mm in the southern end of the island.

Introducció

El clima és molt important com a modulador dels processos càrstics, tant directament, mitjançant la influència directa de la pluviositat i la temperatura en els mecanismes de dissolució de la roca calcària, com indirectament, permetent-hi el desenvolupament d'un cert tipus de vegetació, la qual al seu torn afavorirà també aquella dissolució a través de l'activitat de les arrels i de la respiració del sòl (JAKUCS, 1977).

En aquest apartat farem en primer lloc una aproximació general al clima de Mallorca, per a després parar atenció a les variacions espacials del clima dins l'illa, així com a les variacions dels elements climàtics al llarg del temps.

La font principal per a l'elaboració de les taules

Introduction

The climate is very important as a modulator of karstic processes, both directly, through the direct influence of rainfall and temperature in the dissolution mechanisms of limestones, and indirectly, allowing the growth of a certain kind of vegetation, which in its turn will also favour dissolution through the activity of roots and the respiration of the soil (JAKUCS, 1977).

In the first place, in this section we will make a general approach to the climate in Mallorca, proceeding with the spatial variations of the climate on the island, as well as the variations of climatic elements throughout time.

GUIJARRO (1986) has been the main source for the elaboration of data tables and diagrams, but GAYÀ (1976 and 1984), GRIMALT (1989) and JANSÀ (1976) have also been consulted as well as the climatologic data from the Centre Meteorològic de Balears (C.M.B., several years).

¹ Societat d'Història Natural de les Balears. Estudi General Lul·lià. C/ Sant Roc, 4. E-07001 Palma de Mallorca.

de dades i diagrames ha estat GUIJARRO (1986), però també s'han consultat GAYÀ (1976 i 1984), GRIMALT (1989) i JANSÀ (1976), així com les dades climatològiques del Centre Meteorològic de Balears (C.M.B., diversos anys).

Visió general del clima de Mallorca

Mallorca es troba situada a latituds mitjanes, dins la Mediterrània occidental, i això fa que estigui sotmesa a la influència alternada de dos trets de la circulació general de l'atmosfera: 1) a l'hivern ens trobam a la banda sud del cinturó de vents generals de ponent, i de tant en tant en rebem els sistemes frontals associats; 2) a l'estiu, en canvi, el cinturó de ponents puja de latitud, amb la qual cosa quedam sota la influència del cinturó subtropical d'altres pressions, en el que predomina el temps sec i assolellat, i les poques precipitacions són de caràcter convectiu.

Apart d'aquests condicionants generals deguts a la latitud de Mallorca, les configuracions de l'orografia al voltant de la Mediterrània imposen altres característiques al clima. En efecte, els sistemes muntanyencs de l'Atlas al sud, les serralades Bètiques i Ibèrica a l'oest, i els Pirineus i Alps al nord, actuen com a barreres que alteren notablement la circulació de l'aire que arriba a la Mediterrània, produint contrastos entre masses d'aire que sovint generen depressions, i fan de la Mediterrània occidental un dels llocs amb major activitat ciclogènica del món.

La conseqüència de tot això és un clima molt irregular, amb variacions espectaculars del règim de precipitació d'uns anys a altres. La mateixa mar Mediterrània és un factor climàtic molt important. La capacitat acumuladora de calor de l'aigua de la mar actua com a element moderador de les variacions de temperatura, tant dins el cicle diari com entre les estacions de l'any. És així com els hiverns són relativament suaus, amb poques gelades, i els estius, encara que càlids, no es caracteritzen pels màxims de temperatura propis de zones més continentals. La calor acumulada per la mar durant l'estiu té un altre efecte: en ser tornada a l'aire a la tardor, contribueix a inestabilitzar l'atmosfera i, amb ocasió d'invasions d'aire fred a les capes mitjanes i altes de la troposfera, es produeixen les tempestes més fortes de l'any i es recullen les majors quantitats de precipitació, fins al punt de produir, amb certa freqüència, inundacions per desbordament dels torrents més afectats per la pluja.

Tots aquests factors es reflecteixen en el clima general de Mallorca que il·lustrarem amb el diagrama ombrotèrmic d'una localitat de l'illa, Sant Joan, allunyada dels extrems climàtics (Figura 1 i Taula I). Amb 153 m d'altitud, té una precipitació anual mitjana de 584 mm, amb un màxim mensual de 93,8 mm a l'oc-

General view of the climate in Mallorca

Mallorca is situated in medium latitudes, in the western part of the Mediterranean, being submitted to the alternated influence of two features of the general circulation of the atmosphere: 1) in the winter we are situated in the southern part of the belt of general western winds and, from time to time, we receive the frontal systems associated to it; 2) in the summer, however, the western winds belt rises to a higher latitude, with which we remain under the influence of the subtropical belt of high pressures, where the dry and sunny weather predominates and the few rainfalls are of a convective character.

Apart from these general conditionings due to the latitude of Mallorca, the configurations of the orography around the Mediterranean impose other characteristics on the climate. In fact, the mountains of the Atlas in the South, the Betic and the Iberian ranges in the West, and the Pyrenees and the Alps in the North, act like barriers which alter notably the circulation of air that reaches the Mediterranean, producing great contrasts between the masses of air that often generate depressions and, in this manner, cause the western part of the Mediterranean to be one of the areas which has the greatest cyclogenetic activity in the world.

The consequence of all this is a very irregular climate, with spectacular variations of the amount of precipitations from one year to another. The Mediterranean itself constitutes a very important climatic factor. The heat accumulative capacity of sea water acts like a moderating element of the temperature variations, both in the daily cycle and among the seasons of the year. This is why our winters are relatively mild, with few frosts, and summers, although hot, do not attain the maximum temperatures typical of more continental areas. The accumulated heat through the action of the sea during the summer has another effect: on being reverted to the air in the autumn, it contributes to destabilize the atmosphere and when the irruption of cold air occurs in the middle and the upper layers of the troposphere, the most severe storms of the year take place and the greatest amounts of precipitation are collected, up to the point of producing, quite frequently, floodings through the overflowing of the mountain streams more affected by the intense stormy rains.

All these factors are reflected in the general climate of Mallorca which we will illustrate with the pluvio-thermic diagram of Sant Joan, a locality situated far from climatic extremes of the island (Figure 1 and Table I). With 153 m height, it has an annual average precipitation of 584 mm, with a monthly maximum of 93.8 mm in October and a minimum of 8.7 mm in July. Practically all this amount falls in the form of rain: the fall of snowflakes on the

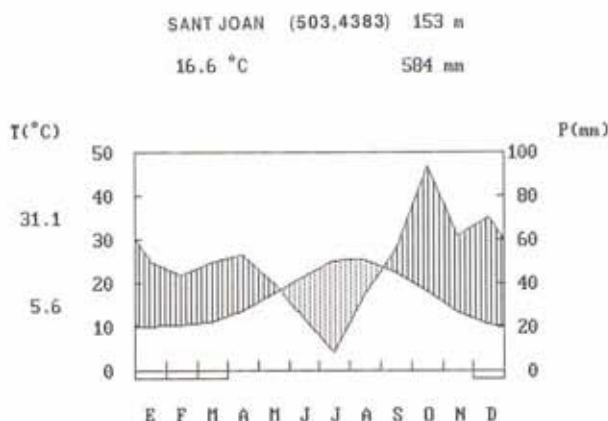


Figura 1: Diagrama ombrotèrmic d'una localitat representativa de Mallorca.

Figure 1: Piuvoio-thermic diagram of a representative locality in Mallorca.

tubre i un mínim de 8,7 mm el juliol. Pràcticament tota aquesta quantitat cau en forma de pluja: la caiguda de flocs de neu al Pla de Mallorca és un fet anecdòtic, i alguns dels 15 dies anuals de tempesta pot caure calabruix, però amb una contribució insignificant al total de precipitació. El nombre mitjà anual de dies amb precipitació igual o superior a 1 mm són 60, dels quals 18 assoleixen o superen els 10 mm.

Pel que fa a les temperatures, la mitjana anual és de 16,6 °C, amb 31,1 °C com a mitjana de les màximes del mes més càlid (agost) i 5,6 °C de mitjana de les mínimes del mes més fred (gener). Ocasionalment hi pot haver gelades (dies amb mínima igual o inferior a 0 °C) de desembre a març.

A la Taula I es presenten dades mensuals mitjanes d'uns quants elements climàtics i un balanç hídric segons el mètode de Thornthwaite. En aquest podem veure que el sòl roman sec des de juny fins a setembre i saturat des de desembre fins a abril. No obstant, aquest balanç mitjà és només una aproximació a la realitat, perquè la precipitació acostuma a caure concentrada en uns pocs dies i no repartida al llarg de cada mes. Per tant, els 34,9 mm d'agost produiran una certa humitat al sòl, encara que per un curt període de temps, cosa que sols quedaria reflectida en un balanç hídric realitzat amb dades diàries. El mateix passaria amb l'excés d'aigua (escorrentia superficial i infiltració), que encara que sigui nul·la els mesos de màxima precipitació per estar recarregant la reserva d'humitat del sòl, a nivell diari hi trobaríem excessos els dies amb pluges importants, tal com succeeix a la realitat. Més interessants resulten les dades estimades d'evapo-transpiració real que, deduïdes a partir de les de temperatura però tenint en compte les disponibilitats d'aigua (de precipitació o d'humitat al sòl), poden donar una idea del nivell d'activitat de la vegetació que cal esperar a la localitat.

És ben conegut que la solubilitat del diòxid de carboni, i com a conseqüència la de la roca calcària,

plain of Mallorca is merely anecdotal and, during some of the 15 annual stormy days, hailstones can fall but with an insignificant contribution to the total amount of precipitation. The annual average number of days with precipitation equal or over 1 mm are 60, and in 18 of them 10 mm can be attained or surpassed.

With regard to temperatures, the annual average is of 16.6 °C, with 31.1 °C as the average of daily maximums of the hottest month (August), and 5.6 °C as the average of daily minimums of the coldest month (January). Occasionally, there may be frosts (the days with a minimum temperature of 0 °C or less) from December to March.

In Table I the monthly average data of a few climatic elements and a hydric balance according to Thornthwaite's method are presented. We are able to perceive from it that the soil remains dry from June until September and saturated from December until April. However, this average balance is only an approximation to reality, because precipitation usually falls accumulated in a few days and not distributed throughout each month. Therefore, the 34.9 mm in August will produce a certain humidity to the soil, although only for a short period of time, a fact that would just be reflected in a hydric balance carried out with daily data. The same would occur with the excess of water (surface run-off and infiltration), that although it is null during the months of maximum precipitation as the humidity reserve of the soil is being refilled, at a daily level we would find an excess during the days that the heavy rains fall, as it really happens. The estimated real evapotranspiration data—which are calculated from the temperatures, but taking into account the availability of water (from precipitations or from soil humidity)—reveal more interest because they can give an idea of the activity level of the vegetation which is to be expected in the locality.

It is well-known how the solubility of carbon dioxide, and as a consequence that of the limestone, varies inversely with temperature; which would explain the different erosion rates corresponding to rocks without soil cover. The existing relationship between precipitations and regional karstic erosion rates has also been proved, once the evapotranspiration values have been put aside (ATKINSON & SMITH, 1976). Within Mallorca's general climate, temperatures and precipitations that are recorded in the different karstic localities present remarkable spatial variations that will be dealt with later on.

Bioclimatic implications

In the same diagram in Figure 1 we can observe the most important feature of the Mediterranean

varia inversament amb la temperatura; això explica les diferents taxes d'erosió corresponents a roques desproveïdes de sòl. També s'ha pogut demostrar la relació existent entre precipitacions i taxes regionals d'erosió càrstica, una vegada descomptats els valors de l'evapo-transpiració (ATKINSON & SMITH, 1976). Dins el clima general de Mallorca, les temperatures i precipitacions que s'enregistren en les distintes localitats càrstiques presenten importants variacions espacials que seran tractades més endavant.

Implicacions bioclimàtiques

Al mateix diagrama de la Figura 1 podem observar el tret més important del clima mediterrani: a l'estiu, quan les temperatures són més altes, i per tant també les demandes evaporatives de l'atmosfera, és quan les precipitacions assoleixen el seu mínim. Aquest fet resulta molt estressant per a la vegetació i, apart de les plantes de cicle anual (teròfits) que completen el seu cicle vital a l'època humida, només es poden desenvolupar els arbres i arbusts ben proveïts d'adaptacions a la sequera.

El paradigma d'arbre mediterrani és l'alzina (*Quercus ilex*). Les seves fulles petites, coriàcees per la forta cutícula impermeable, amb els estomes situats en un revers més clar degut a les microestructures pil·loses que els protegeixen, són ideals per a un estricte control de la transpiració. Al mateix temps, unes profundes arrels garanteixen el mínim d'humitat necessària per a reemplaçar l'aigua perduda durant els períodes de sequera. Tant l'alzina com les altres espècies llenyoses de Mallorca (*Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea*, *Cistus* sp, etc) són de fulla perenne, i per tant no tenen una època de caiguda ben definida. No obstant, en el procés de renovació foliar les fulles que cauen es van incorporant al sòl, on tenen lloc els processos de descomposició que, amb intervenció d'organismes vius, fan que la concentració de diòxid de carboni a terra sigui dos ordres de magnitud superior a la de l'aire.

Aquest fenomen, la respiració del sòl, és afavorit per la humitat i la temperatura, necessàries per a l'activitat dels organismes descomponedors. Per tant podem esperar que les concentracions de diòxid de carboni al sòl, el seu rentat per l'aigua de pluja i la posterior reacció d'aquesta aigua acidificada amb la

climate: in the summer, when the temperatures are higher, and therefore also the evaporative demands of the atmosphere, it is when the precipitations attain their minimum. This fact is very stressful for the vegetation and, apart from plants with an annual cycle that complete their vital cycle during the humid period, only well drought-adapted trees and bushes can develop.

The paradigm of Mediterranean tree is the holm-oak (*Quercus ilex*). Its small leaves, coriaceous due to its strong impermeable cuticle, and with its stomata situated at a lighter back side due to its pilose microstructures which protect them, are ideal for a strict transpiration control. At the same time, its deep roots guarantee the minimum of humidity essential to replace the lost water during the dry season. Both the holm-oak and the other woody Majorcan species (*Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea*, *Cistus* sp, etc) are evergreen and therefore they do not have a well-defined falling period. However, during the process of foliar renovation the falling leaves are incorporated to the soil, where the decomposition processes take place which, with the intervention of living organisms, cause the concentration of carbon dioxide in the ground to be higher in magnitude with regard to the open air.

This phenomenon, the soil respiration, is favoured by the humidity and the temperature, essential for the activity of decomposing organisms. Therefore it is to be expected that the carbon dioxide concentrations in the soil, its washing produced by rain water, and the subsequent reaction of this acidified water with limestones in the subsoil, will attain its maximums in the autumn, and will also be high in the spring, seasons in which there is a better conjunction of temperature and precipitation values: in the winter the temperature is lower, and the summer is too dry.

We must also consider the fact that the rain only falls in a reduced number of days, in which the rain takes the form of short periods of showers favouring the carbon dioxide of the soil to be recharged between rainfalls, more than if the same amount of rainfall should fall better distributed like in atlantic climates.

Fluctuations in the concentration of carbon dioxide in the interior of karstic geosystems show a strong dependence on the main features of the climate. If the role that carbon dioxide plays is

Les taules que es presenten corresponen a dades mitjanes mensuals estimades a quadrícules de 1 km², per al període 1961-1980, mitjançant un model de regressió múltiple (GUIJARRO, 1986). Explicació dels símbols: P = Precipitació; T = Temperatura; TM = Temperatura màxima diària; Tm = Temperatura mínima diària; Tma = Temperatura mínima mensual; E(L) i ETP(L) = Evaporació i Evapo-transpiració potencial (mètode de Linacre); ETP = Evapo-transpiració potencial (mètode de Thornthwaite); R = Reserva d'humitat al sòl; ETR = Evapo-transpiració real; DA = Dèficit d'aigua; EA = Excés d'aigua (escorrentia + infiltració).

The tables shown correspond to monthly average data estimated in squares of 1 km², for the period 1961-1980, by means of a multiple regression model (GUIJARRO, 1986).

Explanation of the symbols: P = Precipitation; T = Temperature; TM = Daily maximum temperature; Tm = Daily minimum temperature; Tma = Monthly minimum temperature; E(L) and ETP(L) = Evaporation and potential Evapotranspiration (Linacre's method); ETP = Potential Evapotranspiration (Thornthwaite's method); R = Soil humidity reserve; ETR = Real Evapotranspiration; DA = Water deficit; EA = Water excess (run-off + infiltration).

Valors mensuals de precipitació (mm), temperatures (°C) i evaporació (mm):
 Monthly precipitation values (mm), temperatures (°C) and evaporation (mm):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	49.7	43.7	49.3	52.9	40.3	23.5	8.7	34.9	55.7	93.8	61.5	69.9	583.9
T	10.0	10.3	11.2	13.4	17.4	21.5	24.9	25.4	22.6	18.3	13.7	10.8	16.6
TM	14.3	14.7	16.0	18.4	22.8	27.3	30.9	31.1	27.8	22.9	18.3	14.9	31.1
Tm	5.6	5.8	6.5	8.5	11.9	15.7	18.9	19.7	17.4	13.7	9.1	6.7	5.6
Tma	0.8	0.8	1.3	3.4	7.2	11.3	15.0	15.8	12.7	8.2	3.3	1.4	0.8
E(L.)	76.8	70.8	84.5	100.5	146.8	196.6	260.1	260.0	202.8	151.1	103.1	84.2	1737.3
ETP(L.)	60.8	55.9	66.4	79.1	116.8	158.6	212.1	210.7	162.1	119.2	81.3	66.9	1389.9

Balanç hídric (mm, pel mètode de Thornthwaite) / Hydric balance (mm, using Thornthwaite's method):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	49.7	43.7	49.3	52.9	40.3	23.5	8.7	34.9	55.7	93.8	61.5	69.9	583.9
ETP	20.8	22.6	31.3	45.9	80.8	117.3	153.4	148.1	106.3	68.1	35.7	23.0	853.3
R	100.0	100.0	100.0	100.0	59.5	0.0	0.0	0.0	0.0	25.7	51.4	98.3	52.9
ETR	20.8	22.6	31.3	45.9	80.8	83.0	8.7	34.9	55.7	68.1	35.7	23.0	510.5
DA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.4	144.7	113.2	50.6	0.0	0.0	0.0	342.9
EA	27.2	21.1	18.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.3

Taula I / Table I: SANT JOAN (X = 503 km; Y = 4383 km; Z = 153 m)

Valors mensuals de precipitació (mm), temperatures (°C) i evaporació (mm):
 Monthly precipitation values (mm), temperatures (°C) and evaporation (mm):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	147.8	130.1	140.8	117.6	78.2	30.1	15.7	48.9	95.3	204.7	185.6	207.5	1402.3
T	10.5	10.6	11.6	12.9	16.5	20.6	24.5	24.8	22.4	18.0	14.0	11.4	16.5
TM	11.5	11.9	13.1	14.9	19.7	24.8	28.7	28.7	25.8	20.2	15.4	12.3	28.7
Tm	9.6	9.4	10.1	10.8	13.2	16.4	20.3	20.9	19.1	15.7	12.5	10.4	9.4
Tma	5.9	6.2	6.0	7.7	10.1	13.5	17.7	18.9	16.5	12.7	8.0	6.7	5.9
E(L.)	96.2	87.4	103.1	108.2	142.1	183.6	234.0	231.8	189.4	150.5	115.8	101.5	1743.6
ETP(L.)	74.4	67.6	79.4	83.1	108.8	142.2	181.0	177.9	143.6	114.0	88.6	78.3	1338.9

Balanç hídric (mm, pel mètode de Thornthwaite) / Hydric balance (mm, using Thornthwaite's method):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	147.8	130.1	140.8	117.6	78.2	30.1	15.7	48.9	95.3	204.7	185.6	207.5	1402.3
ETP	23.2	24.3	33.9	43.7	74.6	109.7	149.5	142.4	105.2	66.8	37.7	25.8	836.8
R	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	20.4	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	68.4
ETR	23.2	24.3	33.9	43.7	74.6	109.7	36.1	48.9	95.3	66.8	37.7	25.8	620.0
DA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.4	93.5	9.9	0.0	0.0	0.0	216.8
EA	124.6	105.8	106.9	73.9	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	37.9	147.9	181.7	782.3

Taula II / Table II: ALMALLUTX (X = 484 km; Y = 4405 km; Z = 698 m)

Valors mensuals de precipitació (mm), temperatures (°C) i evaporació (mm):
 Monthly precipitation values (mm), temperatures (°C) and evaporation (mm):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	30.4	18.5	20.9	21.1	15.4	9.7	2.1	10.7	39.7	63.5	43.0	46.3	321.3
T	11.6	12.0	12.9	14.8	18.3	21.7	24.9	25.4	23.2	19.4	15.2	12.4	17.6
TM	14.6	15.1	16.4	18.6	22.2	25.8	29.0	29.3	26.9	22.7	18.4	15.4	29.3
Tm	8.6	8.8	9.4	11.1	14.3	17.7	20.8	21.5	19.5	16.0	12.0	9.5	8.6
Tma	3.8	3.6	4.0	6.2	9.8	13.4	17.0	17.5	15.2	10.6	6.5	4.4	3.6
E(L.)	81.5	77.6	96.7	107.2	140.1	168.5	209.4	210.9	176.8	143.7	104.9	86.9	1604.2
ETP(L.)	64.0	61.2	76.9	84.6	109.8	131.4	163.1	163.2	136.2	110.9	81.6	68.0	1250.9

Balanç hídric (mm, pel mètode de Thornthwaite) / Hydric balance (mm, using Thornthwaite's method):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	30.4	18.5	20.9	21.1	15.4	9.7	2.1	10.7	39.7	63.5	43.0	46.3	321.3
ETP	24.4	26.9	36.7	50.9	84.4	116.5	152.3	147.4	109.5	72.7	40.1	26.7	888.5
R	28.5	24.0	16.3	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	22.5	8.2
ETR	24.4	23.0	28.6	33.1	19.7	9.7	2.1	10.7	39.7	63.5	40.1	26.7	321.3
DA	0.0	3.9	8.1	17.8	64.8	106.8	150.2	136.7	69.8	9.2	0.0	0.0	567.3
EA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Taula III / Table III: CAP DE SES SALINES (X = 504 km; Y = 4346 km; Z = 8 m)

roca calcària del subsòl, seran màxims a la tardor, i també alts a la primavera, estacions en les quals es dona una millor conjunció de valors de temperatura i precipitació: a l'hivern la temperatura és més baixa, i l'estiu és massa sec.

També podem considerar que el fet de que la pluja es doni només en un petit nombre de dies, en els quals la pluja cau en forma de xàfecs de curta durada, pot afavorir la recàrrega del diòxid de carboni del sòl entre pluja i pluja, més que si la mateixa quantitat de precipitació caigués més repartida, com als climes atlàntics.

Les fluctuacions de la concentració de diòxid de carboni en l'interior dels geosistemes càrstics mostren una forta dependència dels principals trets del clima. Si es considera el paper exercit pel diòxid de carboni en els equilibris químics que controlen els processos de carstificació, és evident que els aspectes bioclimàtics adquireixen una importància fonamental per al desenvolupament del carst. GINÉS *et al.* (1987) han observat que concentracions superiors al 3 % són freqüents en les coves de Mallorca i que aquests valors mostren grans oscil·lacions al llarg del cicle anual.

Variacions espacials del clima

Si bé el diagrama ombrotèrmic de Sant Joan ens dona una idea general del clima de Mallorca, hem de dir que l'orografia de l'illa, amb les elevacions de la Serra de Tramuntana al nord-oest i les de les Serres de Llevant, menys importants, al sud-est, introdueixen considerables variacions d'uns llocs a altres.



Figura 2: Precipitacions anuals mitjanes, en mm (1961-1980).

Figure 2: Annual average precipitations, in mm (1961-1980).

Les més importants són les variacions pluviomètriques (Figura 2), que oscil·len entre 1.400 mm al cor de la Serra de Tramuntana fins a poc més de 300 mm a les puntes meridionals de l'illa (Cap de Cala Figue-

considered with regard to the chemical equilibria controlling the karstification processes, it is obvious that bioclimatic aspects acquire a great importance in the development of karst. GINÉS *et al.* (1987) have observed that concentrations superior to 3 % are frequent in Majorcan caves and that these values reveal great oscillations during the annual cycle.

Spatial variations of the climate

Although the pluvio-thermic diagram of Sant Joan gives us a general idea of the climate in Mallorca, we have to mention that the orography of the island, with its heights, those of Serra de Tramuntana in the Northwest and those of Serres de Llevant, less important, in the Southeast, introduce considerable variations from one place to another.

The most important are the rainfall variations (Figure 2), which oscillate between 1,400 mm in the heart of Serra de Tramuntana up to a little over 300 mm in the southern points of the island (Cap de Cala Figuera and Cap de ses Salines). Apart from these extreme conditions, most part of Serra de Tramuntana enjoys precipitations over 800 mm, and the heights in the interior of Artà, in the Northeast, receive from 700 to 800 mm. In the rest of central and northern Mallorca they exceed 500 mm, and the southern part is the driest with less than 500 mm annually.

With regard to average temperatures, the most important factor is the altitude and it so happens that we encounter the coldest areas in the heart of the mountains, and the hottest on the coastal plains. The thermometric oscillations throughout the day are, however, greater on the plains or extensive valleys than in the orographic heights, because radiative interchanges are more intense, and besides the cold air accumulates during the night which, due to its greater density, moves down from the higher areas. It is frequent to record, in the abundant calmed and cloudless nights, thermic inversions which cause, for example, the minimum temperature of Palma's airport, practically at sea level, to be below Serra d'Alfàbia's, at about 1,100 m height.

In Figures 3 and 4 we have outlined the pluvio-thermic diagrams of two Majorcan localities with extreme average precipitations. In Almallutx (Figure 3), on the southern bank of the Gorg Blau reservoir, we encounter monthly average precipitations over 100 mm from almost September to April, with a total of 1,402 mm annually. The dry season is reduced to a little more than two months, from 10th June to about 20th August approximately. However, at the extreme South of Mallorca (Cap de ses Salines, Figure 4) the precipitations are considerably inferior, with 321 mm of estimated annual average, and the dry season

ra i Cap de ses Salines). Llevat d'aquests extrems, la major part de la Serra de Tramuntana gaudeix de precipitacions superiors a 800 mm, i les elevacions de l'interior d'Artà, al nord-est, en reben de 700 a 800 mm. A la resta de la Mallorca central i septentrional se superen els 500 mm, i la banda meridional és la més seca, amb menys de 500 mm anuals.

Pel que fa a les temperatures mitjanes, el factor més important és l'altitud, i així trobam les zones més fredes als nuclis muntanyencs, i les més càlides a les planes costaneres. Les oscil·lacions termomètriques al llarg del dia són, però, més grans a les planes o valls amples que a les elevacions orogràfiques, perquè els intercanvis radiatius són més intensos, i a més a més durant les nits s'hi acumula l'aire fred que, degut a la seva major densitat, drena de les zones més altes. És freqüent trobar, a les nombroses nits calmes i amb cel estirat, inversions tèrmiques que fan que, per exemple, la temperatura mínima de l'aeroport de Palma, gairebé al nivell de la mar, sigui inferior a la de la Serra d'Alfàbia, a uns 1.100 m d'altitud.

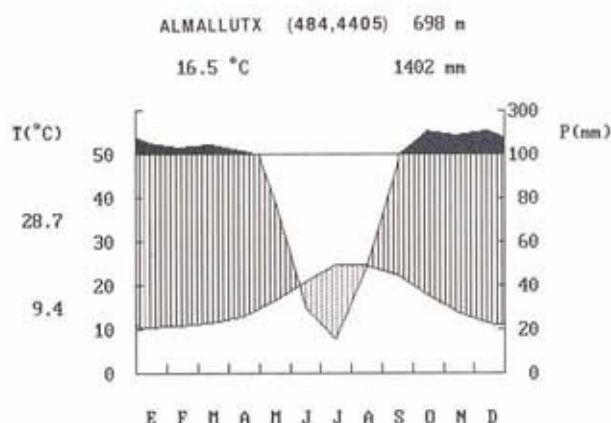


Figura 3: Diagrama ombrotèrmic d'una localitat amb màxima precipitació.

Figure 3: Pluvio-thermic diagram of a locality with maximum precipitation.

A les Figures 3 i 4 tenim representats els diagrames ombrotèrmics de dues localitats de Mallorca amb precipitacions mitjanes extremes. En Almallutx (Figura 3), a la riba sud de l'embassament del Gorg Blau, hi trobam precipitacions mensuals mitjanes superiors a 100 mm des de gairebé setembre fins a abril, amb un total anual de 1.402 mm. El període sec queda reduït a poc més de dos mesos, del 10 de juny al 20 d'agost aproximadament. En canvi, a l'extrem sud de Mallorca (Cap de ses Salines, Figura 4) les precipitacions són considerablement menors, amb 321 mm de mitjana anual estimada, i el període sec s'esten durant prop de vuit mesos (de febrer fins a setembre).

Pel que s'ha vist fins ara en referència a precipitacions i temperatures, quan pujam del nivell de la mar fins als cims més alts, les primeres augmenten

extends to about eight months (from February to September).

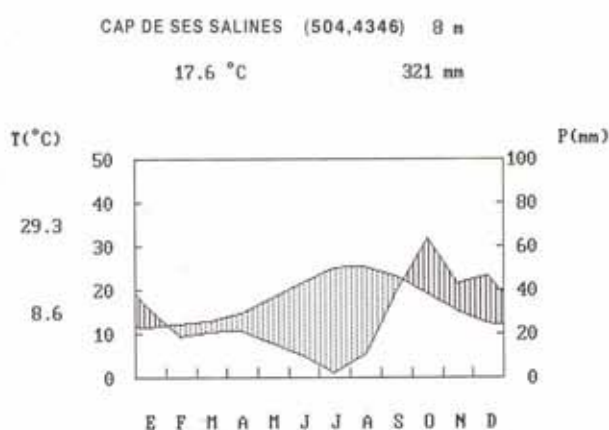


Figura 4: Diagrama ombrotèrmic d'una localitat amb mínima precipitació.

Figure 4: Pluvio-thermic diagram of a locality with minimum precipitation.

According to what has been exposed until now with regard to precipitations and temperatures, as we ascend from the sea level up to the highest peaks, the first increase while the second decrease. We have to bear in mind, therefore, that the optimum combinations for karstification will be found in the intermediate areas, with a certain height but far from the highest zones. In these optimum places is where we can find holm-oak woods in Mallorca, although the human influence has considerably reduced its distribution area.

In the highest zones of the island the vegetation is preferently herbaceous (*Ampelodesmos mauritanica*) or woody of a small size (*Teucrium subspinosum*, *Astragalus balearicus*, *Santolina chamaecyparissus*, etc); these mountain zones also have the disadvantage of being more exposed to the desiccant action of the wind.

However, in the lowest areas, whose precipitations are below 500 mm, the holm-oak wood is substituted, firstly, by pine groves (*Pinus halepensis*) and shrubberies (*Olea europaea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, etc), less and less dense as precipitation decreases or soils become impoverished and with less capacity of water retention.

At a microclimatic level, the orientation of slopes has a remarkable importance because of the great differences of solar irradiation that exist between the slopes that overlook the North or the South (GUIJARRO, 1981 and 1982). This gives rise to different evapotranspiration rhythms. If the water supply to the soil were secured, the sunny slopes would have a more developed vegetation. But the limiting factor of our climate is precipitation, and in the sunny spots the soil water content diminishes quickly,

mentre que les segones disminueixen. Hem de pensar, doncs, que les combinacions òptimes per a la carstificació es trobaran a situacions intermèdies, amb una certa altitud però lluny de les zones més elevades. En aquest òptim és on podem trobar els alzinars a Mallorca, encara que la influència humana ha reduït molt la seva àrea de distribució.

A les zones més altes la vegetació és preferentment herbàcia (*Ampelodesmos mauritanica*) o llenyosa de petita mida (*Teucrium subspinosum*, *Astragalus balearicus*, *Santolina chamaecyparissus*, etc); aquestes zones de muntanya tenen així mateix el desavantatge d'estar més exposades a l'acció dessecant del vent.

En canvi, a les zones més baixes amb precipitacions per sota dels 500 mm, l'alzinar es veu substituït, primerament, per pinars (*Pinus halepensis*) i formacions arbustives (*Olea europaea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, etc), cada vegada més obertes segons disminueix la precipitació o, d'altra banda, els sòls es fan més pobres i amb menor capacitat de retenció d'aigua.

En un nivell microclimàtic, l'orientació dels pendents té una gran importància per les grans diferències d'irradiació solar que hi ha entre els vessants que miren al nord o al sud (GUIJARRO, 1981 i 1982). Això fa que hi hagi diferents ritmes d'evapo-transpiració. Si el subministrament d'aigua al sòl estigués assegurat, les solanes serien els vessants amb una vegetació més desenvolupada. Però al nostre clima el factor limitant és la precipitació, i a les solanes el contingut d'aigua al sòl disminueix ràpidament, mentre que a les umbries es manté durant més temps. És en aquestes, doncs, on a igualtat d'altres factors trobarem una vegetació més desenvolupada i podem esperar que la concentració de diòxid de carboni al sòl sigui més alta, i que per tant sigui també major la capacitat de dissolució de la calcària per part de l'aigua de precipitació que renti aquest sòl.

Relacionades amb aquests sòls més decalcificats podem trobar espècies calcífugues, com l'arbo-cera (*Arbutus unedo*) o el bruc (*Erica arborea*), més

whereas in the shady places it lasts longer. It is in these ones where, with other factors being equal, we will find a more developed vegetation and the concentration of carbon dioxide in the soil is expected to be higher, and therefore the limestone dissolution capacity of precipitation waters that wash this soil should be also greater.

In relation with these more decalcified soils we can encounter calcifugous species, such as strawberry trees (*Arbutus unedo*) or heather (*Erica arborea*), more frequent in the slopes orientated towards the North or at the bottom of small depressions.

Variations throughout time

Another characteristic of the Mediterranean climate is its temporal variability, which becomes evident on examining its history (FONTANA et al., 1974). We have to take into account that up till now we have been referring to average temperature and precipitation values, but that from one year to another there are great differences, specially with regard to precipitation. And not only in the total amount, but also concerning its distribution throughout the year. Therefore, although it is very normal to find July months with a null precipitation, this fact can occur in any other month (with minor frequencies for the rainiest months, naturally).

To illustrate these variations from year to year we will pay attention to the succession of average precipitation and temperature in Palma's observatory, the oldest of the Balearic islands, with records since 1862.

In Figure 5 we can see how the annual precipitations can oscillate between 200 and 700 mm, with a minimum of 164.6 mm in 1945 and a maximum of 777.4 mm in 1898. They constitute very important variations. Those of the annual average temperature are not so significant (Figure 6), as throughout 132

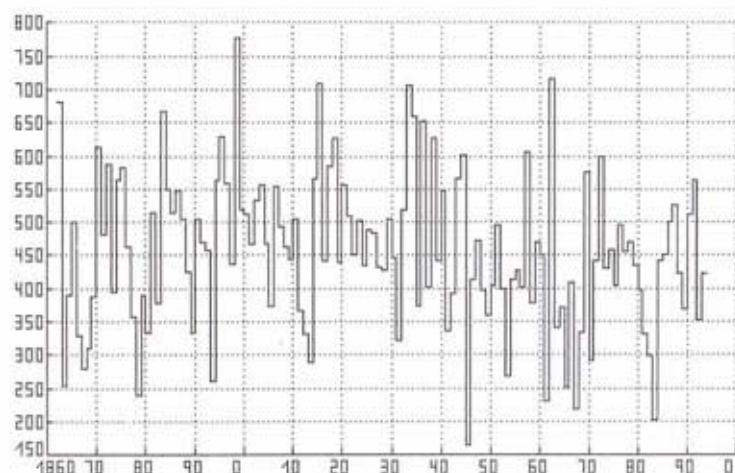


Figura 5:
Precipitacions anuals de Palma, en mm (1862-1993).

Figure 5:
Palma's annual precipitations, in mm (1862-1993).

freqüents en els vessants orientats cap al nord o als fons de petites depressions.

Variacions temporals

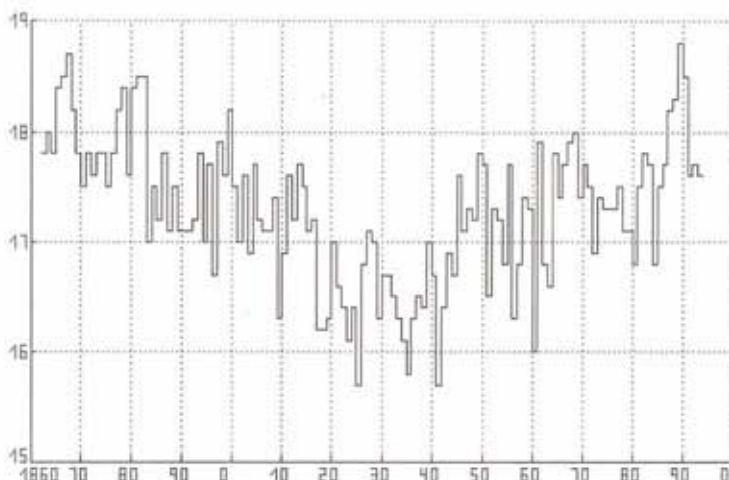
Una altra característica del clima mediterrani és la seva variabilitat, que es posa de manifest quan s'estudia la seva història (FONTANA *et al.*, 1974). Hem de pensar que fins ara ens hem estat referint als valors mitjans de temperatura i precipitació, però que

years the minimum was 15.7 °C in 1925 and 1941, whereas the maximum was 18.8 °C just in 1989. We have to point out that the cold period that can be observed in the Figure 6 between 1917 and 1937 is due to the fact that during those years the observatory was located in the Palma Institute, today situated in the centre, but then set in the outer parts of Palma, and therefore with lower minimum temperatures than in the centre of the city.

These great oscillations, above all those from precipitations and their temporary distribution from one year to another, must necessarily result in great

Figura 6:
Temperatures mitjanes anuals de Palma, en °C (1862-1993).

Figure 6:
Palma's annual average temperatures, in °C (1862-1993).



d'un any a altre es donen grans diferències, sobretot quant a la precipitació. I no només en la quantitat total, si no també respecte a la seva distribució al llarg de l'any. Així, si bé és molt normal trobar mesos de juliol amb precipitació nul·la, aquest fet es pot donar gairebé a qualsevol altre mes (amb freqüències més petites per als mesos més plujosos, naturalment).

Per a il·lustrar aquestes variacions interanuals pararem atenció a les sèries de precipitació i temperatura mitjana de l'observatori de Palma, el més antic de les Balears, amb registres des de 1862.

A la Figura 5 podem veure com les precipitacions anuals poden oscil·lar entre 200 i 700 mm, amb un mínim de 164,6 mm el 1945 i un màxim de 777,4 mm el 1898. Són variacions molt importants. Les de la temperatura mitjana anual no ho són tant (Figura 6), donat que al llarg dels 132 anys el mínim va ser de 15,7 °C el 1925 i el 1941, mentre que el màxim fou 18,8 °C al recent 1989. Hem d'aclarir que el període fred que s'observa a la Figura 6 entre 1917 i 1937 és degut a que durant aquells anys l'observatori es trobava a l'Institut de Palma, avui una localització cèntrica, però llavors situada a l'extraradi de la ciutat, i per tant amb unes mínimes més baixes que al centre del nucli urbà.

Aquestes fortes oscil·lacions, sobretot de les precipitacions i de la seva distribució temporal any rera any, es deuen traduir necessàriament en fortes va-

riations of the activity of karstic processes, and must be recorded as differences in the sedimentation rhythms that affect the underground cavities, specially what concerns the development of speleothems.

riacions de l'activitat dels processos càrstics, i deuen quedar enregistrades com a diferències en els ritmes de sedimentació que afecten les cavitats subterrànies, especialment en el que fa referència al creixement d'espeleotemes.

Bibliografia / References

- ATKINSON, T.C. & SMITH, D.I. (1976): The erosion of limestones. In: FORD, T.D. & CULLINGFORD, C.H.D. (Eds.): *The Science of Speleology*. Academic Press. 151-177. London.
- C.M.B. (diversos anys): *Boletín Mensual Climatológico*. Centro Meteorológico de Baleares (I.N.M.). Palma de Mallorca.
- FONTANA, J.M.; MIRÓ-GRANADA, J. & VIDAL, J.J. (1974): *El clima de Baleares, hoy y ayer: 1450-1700*. 104 pàgs. Madrid.
- GAYÀ, C. (1976): *Climatología de Baleares. Temperaturas*. SMN A-71. 49 pàgs. Madrid.
- GAYÀ, C. (1984): *Climatología de Baleares. Meteoros*. INM A-71bis. 204 pàgs. Madrid.
- GINÉS, A.; HERNÁNDEZ, J.; GINÉS, J. & POL, A. (1987): Observaciones sobre la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de la Cova de les Rodes (Pollença, Mallorca). *Endins*. 13 : 27-38. Palma de Mallorca.
- GRIMALT, M. (1989): *Geografía del risc a Mallorca*. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears.
- GUIJARRO, J.A. (1981): Primeras medidas de irradiación solar en Palma de Mallorca. Relación con la insolación. *Bol. Soc. Hist. Nat. Bal.* 25 : 31-38. Palma de Mallorca.
- GUIJARRO, J.A. (1981): *Radiación solar sobre laderas: aplicación a los taludes costeros del SW de Mallorca, y relación con la vegetación*. Tesis de Licenciatura, Universitat de les Illes Balears (Inèdita).
- GUIJARRO, J.A. (1986): *Contribución a la bioclimatología de Baleares*. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears (Inèdita).
- JAKUCS, L. (1977): *Morphogenetics of karst regions*. Akadémiai Kiadó. 284 pàgs. Budapest.
- JANSÀ, A. (1976): Pluviometría de Baleares. *Bol. Asoc. Met. Esp.* (1974-75) : 16-18.